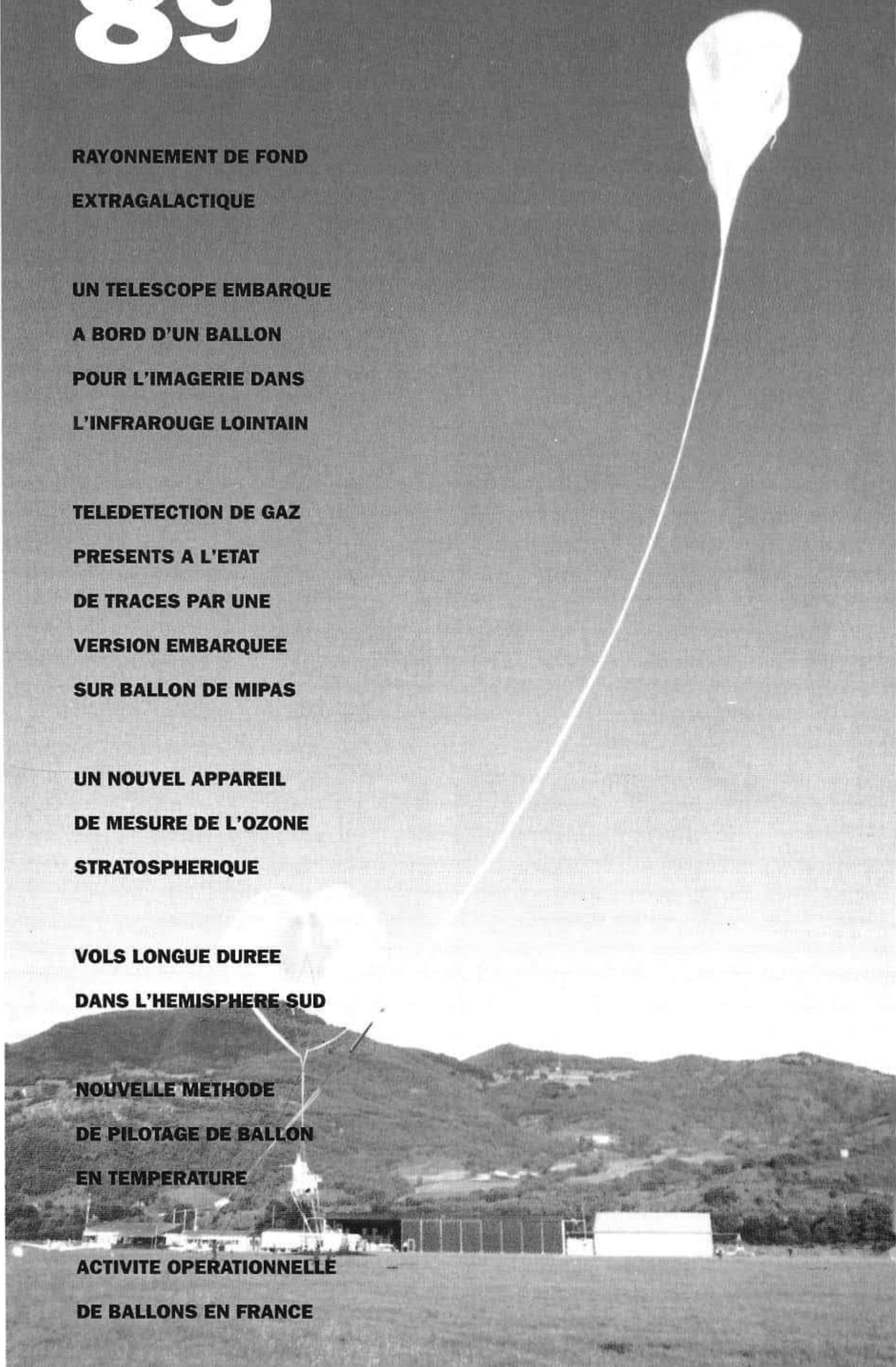
cnes

centre national d'etudes spatiales

LES ACTIVITES BALLONS EN FRANCE

88 89



RAYONNEMENT DE FOND EXTRAGALACTIQUE

UN TELESCOPE EMBARQUE A BORD D'UN BALLON POUR L'IMAGERIE DANS L'INFRAROUGE LOINTAIN

TELEDETECTION DE GAZ PRESENTS A L'ETAT DE TRACES PAR UNE VERSION EMBARQUEE SUR BALLON DE MIPAS

UN NOUVEL APPAREIL DE MESURE DE L'OZONE STRATOSPHERIQUE

VOLS LONGUE DUREE DANS L'HEMISPHERE SUD

NOUVELLE METHODE DE PILOTAGE DE BALLON EN TEMPERATURE

ACTIVITE OPERATIONNELLE DE BALLONS EN FRANCE

L'EXPERIENCE ARGO 1988

P. de Bernardis Univ. Roma Roma

La recherche d'anisotropies dans le rayonnement de fond extragalactique ou EGB (extragalactic backgrounds anisotropies) est un outil important pour la recherche en cosmologie.

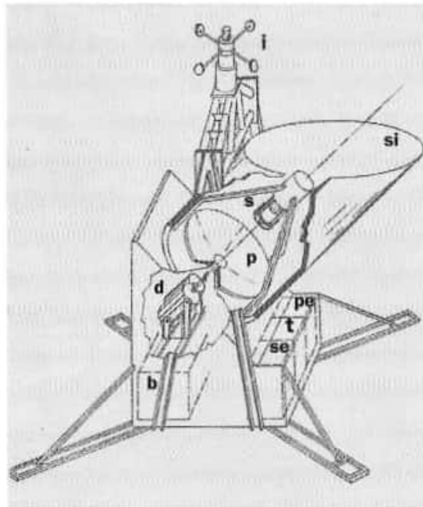


Schéma de l'expérience ARGO 1988.
p : miroir primaire, **s** : système miroir secondaire
si : écran de superisolation, **d** : système détecteur
i : moteur à inertie pour le pointage d'azimut,
se : électronique signaux, **t** : télémesure,
pe : électronique pointage, **b** : groupe batterie.
Figure 1



Une EGB remarquable a été découverte récemment lors d'une expérience sur une fusée dans le domaine submillimétrique, d'une densité d'énergie de l'ordre de 10% du rayonnement cosmique de fond ou CBR (Cosmic Background Radiation). Plusieurs théories ont été suggérées pour l'origine du rayonnement submillimétrique : comptonisation des photons du CBR ; désintégration de particules dans l'univers primitif ; régions chaudes avant la recombinaison ; émission de poussière intergalactique dans le scénario des étoiles prégalactiques (pop. III).

Les mesures d'anisotropie, à différentes longueurs d'onde, devraient être très utiles pour le choix de différents modèles : par exemple, dans le scénario pop. III, les anisotropies submillimétriques de fond sont produites par des fluctuations de la profondeur optique et de la température de la poussière. L'anisotropie prévue augmente avec la fréquence d'observation et décroît avec la séparation angulaire. Le niveau que l'on prévoit pour ces anisotropies est assez élevé, et à des latitudes galactiques élevées, il devrait être supérieur aux fluctuations d'une émission irrégulière de poussière interstellaire.

Une expérience destinée à cette recherche doit avoir un grand débit (AΩ), afin d'augmenter la sensibilité au rayonnement diffus ; d'un autre côté, la dimension du faisceau ne doit pas être trop grande, afin de pouvoir comparer différentes régions du ciel pas trop éloignées les unes des autres. Ceci requiert une grande surface de réception, c'est-à-dire un télescope. La stabilité atmosphérique est relativement faible dans les fenêtres submllimétriques : c'est pourquoi l'anisotropie de l'EGB doit être étudiée à partir de sites extrêmement secs ou situés au-dessus de l'atmosphère.
En fonction de ces idées, nous avons développé un télescope pour l'infrarouge lointain embarqué à bord d'un ballon, afin d'étudier les anisotropies de l'EGB et du CBR.
L'instrument est représenté en figure 1. Le télescope Cassegrain comprend un miroir primaire en aluminium (1,2 m de diamètre, f/0,5) et un miroir secondaire oscillant.
L'ouverture f/# totale est f/3. Le télescope est fixé sur une élévation de 45°. Trois photomètres de f/4,5 ont été utilisés au point de focalisation du télescope, avec une grande fenêtre d'ouverture (45 mm) : de cette façon le champ visé est de 1,0°. La non concordance de f/# a été introduite afin de réduire la diffraction du miroir secondaire.
L'oscillation secondaire permet une commutation sinusoïdale du faisceau de 1,8° dans le ciel à une fréquence de 17 Hz.
Un bolomètre 0,3°K ^{3}He a été utilisé pour la bande de 2,2 mm ; un bolomètre 1,0°K ^{4}He pour la bande passante inférieure (0,3 mm de cut-on). Les trois détecteurs sont utilisés respectivement pour suivre les anisotropies du CBR, les anisotropies de fond subillimétriques et les émission de poussière. Les gradients thermiques sur le miroir primaire devraient entraîner un décalage variable assez difficile à modéliser. Un grand écran spécial a été utilisé avec une superisolation mylar et des régulateurs thermiques, afin de maintenir constante la température du télescope même en presence de différents éclairages du soleil, de la lune et de la terre.

Un système de pointage d'azimut à inertie, dont la précision peut atteindre 15' a été mis au point pour le pointage dans le ciel et un balayage lent. Un vol d'essai en ballon a été réalisé à partir d'Aire sur l'Adour (France), le 20 septembre 1988. Au cours du vol, nous avons testé le modulateur, le système d'écrans et le système de pointage. Tous les essais étaient satisfaisants : l'amplitude de modulation était stable à 0,1% près durant le vol ; le système de pointage permettait de changer l'azimut de la nacelle de plus de 100° en mois de 3 minutes, avec une stabilité de pointage de moins de 0,2° de moyenne quadratique, et les gradients de température sur le miroir primaire étaient inférieurs à 1.10^{-4} K/m pendant tout le vol. Suite à cette expérience, un vol transméditerranéen a été réalisé avec succès, au cours de la campagne Odissea de 1989.

Ce programme est entièrement financé par Piano Spaziale Nazionale - Agenzia Spaziale Italiana, et fait partie du programme TIR (Telescopio InfraRosso), qui met au point un télescope pour l'infrarouge lointain de 2,6 m embarqué à bord d'un ballon.
Ce programme esr une collaboration entre l'Université de Rome "La Sapienza" (P. de Bernardis, M. de Petris, S. Masi, F. Melchiorri, M. Perciballi), le IROE-CNR de Florence (A. Boscaleri), le CAISMI-CNR de Florence (V. Natale), le IAS-CNR de Frascati (G. Natali) et l'OAC de Naples (D. Mancini).

IMAGERIE, RADIOMETRIE ET SPECTROMETRIE DE LA REGION DU CYGNE

F. K. Kneubühl EP Zurich

L'équipe d'astrophysique infrarouge (Dr. C. Degiacomi, A. Holenstein, G. Schenker) du Laboratoire de Physique Infrarouge (Prof. F. K. Kneubühl) de l'EP de Zurich, en coopération avec l'Observatoire de Genève (Dr. D. Huguenin) a conçu et construit un télescope Cassegrain pour l'infrarouge lointain, de 60 cm de diamètre, embarqué à bord d'un ballon, équipé de filtres refroidis à l'hélium et d'un bolomètre en silicone composite avec un NEP de 1,3.10^{-14} W/Hz$^{1/2}$ pour l'imagerie, la radiométrie et la spectroscopie de la région du Cygne, à des longueurs d'onde allant jusqu'à 330 µ.

Un vol d'essai a eu lieu au Centre de Lancement de Ballons du CNES à Aire-sur-l'Adour, France, le 8 mai 1989. Le ballon est resté pendant 4 heures et demie à l'altitude d'observation de 39 km. Ce vol a servi d'essai pour le matériel technique et scientifique. Tout a parfaitement fonctionné, mis à part le fait qu'une dispersion dans l'infrarouge lointain à l'intérieur du radiomètre a diminué sa sensibilité. C'est pourquoi le télescope est maintenant équipé d'un miroir secondaire permettant un découpage différentiel de faisceau. Le prochain vol du télescope est prévu pour l'automne 1990. Peu d'observations d'objets astronomiques ont été réalisées, à cause de la faible transmission de l'atmosphère terrestre du rayonnement dans l'infrarouge lointain et les longueurs d'onde inférieures au millimètre. Des observations fiables doivent être faites à partir de satellites, de fusées, de nacelles de ballons stratosphériques ou d'avions. L'astronomie dans l'infrarouge lointain apporte d'importantes informations sur les nuages de gaz. Elle permet de déterminer leurs paramètres physiques tels que température, pression et vitesse, ainsi que la nature des gaz et leurs états d'ionisation. Un refroidissement par rayonnement des nuages de gaz peut se produire lors d'une excitation par collision de petites molécules, par exemple OH, CO, CH ou H_2O, qui les fait passer à des niveaux de rotation supérieurs. Si des niveaux J élevés sont excités, il y a émission de radiations dans l'infrarouge lointain. Ce processus de rayonnement domine dans des régions moléculaires subissant un choc thermique, qui sont liées à des effondrements de nuages froids de quelques degrés Kelvin chauffés à des températures stellaires de quelques milliers de degrés Kelvin. Dans ces nuages moléculaires comprimés par des chocs, de nouvelles étoiles peuvent se former. Les nuages de gaz moléculaires peuvent présenter des processus actifs de formation d'étoile, avec une forte émission de radiations infrarouges dues à l'excitation des gaz par le choc. Une des régions les mieux étudiées pour la formation des étoiles est le nuage moléculaire Orion. Pour obtenir de plus amples informations sur la formation et l'évolution des étoiles, il est nécessaire d'étudier d'autres régions comportant des nuages moléculaires interstellaires denses.

L'étude du rayonnement infrarouge galactique réalisé par IRAS montre des régions de forte émission à des longueurs d'onde entre 12 µ et 100 µ, par exemple la région du Cygne dans la plaine galactique. Il est possible que des processus de formation des étoiles aient également lieu dans cette région. L'étude IRAS était limitée à des longueurs d'onde inférieures à 100 µ. Le but de notre étude est d'étendre ce domaine du spectre à des longueurs d'onde plus grandes et de mesurer par la suite en détail les spectres d'objets choisis.

Instrumentation

Nous avons conçu et construit un télescope Cassegrain pour l'infrarouge lointain, de 60 cm de diamètre, embarqué à bord d'un ballon, équipé d'un radiomètre pour l'infrarouge lointain et de filtres refroidis à l'He (**figure 1**). Le télescope de type Cassegrain, avec un champ de visée limité par diffraction, a été utilisé précédemment pour la détermination des augmentations de température au-dessus des régions actives du disque solaire.

(Suite page 5)



Téléscope pour l'infrarouge lointain embarqué à bord d'un ballon pour l'étude de la région du Cygne, construit par EP Zurich, en coopération avec l'Observatoire de Genève.
Figure 1

MIPAS

H. Fischer & H. Oelhaf IMK/KfK Karlsruhe

Afin d'augmenter nos connaissances du bilan énergétique, de la dynamique et de la chimie de l'atmosphère moyenne, il est nécessaire de mesurer simultanément la répartition dans l'espace de différentes concentrations d'éléments atmosphériques présents à l'état de traces. Les spectromètres à transformée de Fourier (STF) conviennent particulièrement bien à l'obtention de telles données. Un STF à balayage rapide et haute résolution spectrale d'une nouvelle conception optique a été mis au point pour la région de l'infrarouge moyen (4,5 à 15 µ).

Pour étudier les variations diurnes et les conditions polaires hivernales (par exemple les périodes de "trou dans l'ozone") les mesures d'émission se sont avérées être l'un des moyens les plus efficaces pour rassembler les informations nécessaires. Pour ce mode de mesure, l'instrument embarqué à bord d'un véhicule évoluant à haute altitude (satellite, ballon, etc) détecte l'émission thermique de gaz atmosphérique à l'horizon sur le fond de l'espace froid. Afin d'obtenir la haute sensibilité nécessaire pour ce type de mesure, l'instrument doit être refroidi. Un interféromètre MIPAS refroidi a été expérimenté pour la première fois à bord d'un ballon stratosphérique à Aire sur l'Adour en mai 1989.

Configuration du système

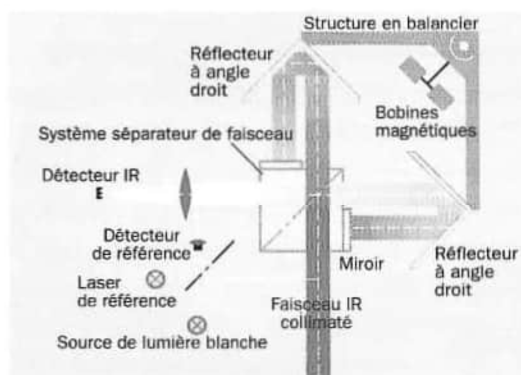
La charge utile du ballon MIPAS comprend le système de stabilisation de la ligne de visée ou LOS (line of sight) avec un miroir d'observation, un télescope à trois miroirs à axe décalé, le spectromètre à transformée de Fourier, le système électronique pour la commande des instruments, le traitement rapide des signaux et des données, ainsi que le système de télécommande /télémesure fourni par le CNES. Le poids total de la nacelle était d'environ 360 kg. Le STF compris dans cette charge utile est un interféromètre à balayage rapide et haute résolution spectrale qui utilise un montage modifié de Michelson (**figure 1**). La différence de chemin optique, propriété caractéristique du fonctionnement d'un interféromètre de Michelson, est produite par le déplacement de deux réflecteurs en angle droit montés sur une structure tournante en balancier. Cette conception, appelée Interféromètre à Double Balancier (IDB), présente plusieurs avantages par rapport à la conception classique. Elle a un grand rapport de déplacement optique/déplacement mécanique (8:1), la vitesse de balayage optique est très peu sensible aux accélérations linéaires ; elle peut être très compacte et consomme peu d'énergie. Pour le premier vol en ballon, l'IDB a été conçu de façon à avoir une différence de chemin optique maximale de 10 cm, correspondant à une résolution spectrale non apodisée de 0,05 cm^{-1}. La sensibilité appropriée a été obtenue en refroidissant le système optique à environ 200 K à l'aide de neige carbonique, limitant la largeur de bande optique à environ 250 cm^{-1} dans la zone de 12 µ et en utilisant un détecteur SiGa refroidi par He liquide. Le télescope à axe décalé avec arrêt Lyot permet d'obtenir une bonne résolution verticale (FOV = 16 arcmin). Le système de miroir d'observation peut couvrir un angle de site compris entre +20° et -6° et, de plus, peut viser un corps noir interne. La ligne de visée est stabilisée à la fois en site et en azimut, de sorte qu'il est possible d'observer un volume d'air déterminé à l'horizon. L'expérience a pu être commandée à partir du sol à l'aide du système de télécommande du CNES. Les données ont été transmises au sol par le système de télémesure PCM du CNES. Les principaux paramètres des instruments figurent dans le tableau.

Résultats préliminaires

Le premier vol en ballon de cette charge utile a eu lieu dans la nuit du 17 au 18 mai 1989, au Centre de Lancement de Ballons du CNES à Aire sur l'Adour. Un ballon de 100 000 m^3 a emporté la charge utile à une altitude d'environ 33 km. Les données ont été enregistrées pendant environ 2 heures et demie à l'altitude de plafond. Bien que ce premier vol ait été un vol technique, il a permis d'obtenir des résultats très prometteurs. Au cours de l'ascension, l'instrument a été mis en marche au-dessus de la tropopause, en visant la stratosphère sous un angle de site de +2°. A partir des spectres de l'altitude plafond du ballon, nous avons enregistré des données sous des angles de visée de -0,5°, -2,2°, -3,2°, -4,5° et -5,5°, couvrant des altitudes tangentes allant de la tropopause supérieure jusqu'à l'altitude plafond du ballon. Entre les différentes mesures à la limite apparente de l'atmosphère, le miroir d'observation a été tourné vers le corps noir interne pour l'étalonnage. Une visée sur l'espace (LOS : +15°) a fourni un second point d'étalonnage.

Pour son premier vol, l'instrument MIPAS a été équipé d'un seul détecteur. Le domaine spectral

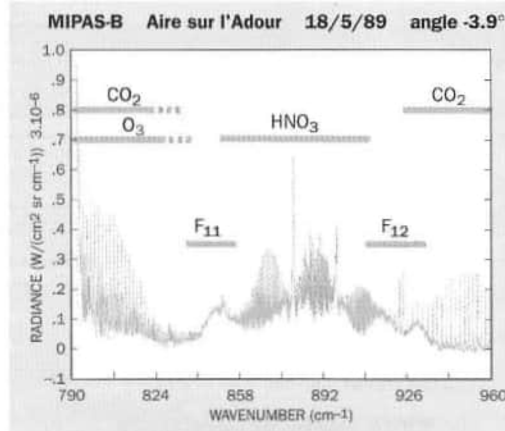
Schéma de l'Interféromètre à Double Balancier (IDB)
La différence de chemin optique est produite par le déplacement de deux réflecteurs à angle droit montés sur une structure en "balancier".
Figure 1



La nacelle du ballon MIPAS-B durant un essai sur le site de lancement du CNES.
Figure 2

vu par ce détecteur couvrait une partie intéressante de l'infrarouge entre 700 et 950 cm^{-1} (10,5 à 14,3 µ). Un exemple de spectre enregistré pour un angle de site de -3,9°, correspondant à une hauteur minimale de chemin optique à travers l'atmosphère d'environ 16 km, est représenté en **figure 3**. Les caractéristiques spectrales de l'ozone (O_3), du dioxyde de carbone (CO_2), de l'acide nitrique (HNO_3) et des chlorofluorocarbones F11 et F12 peuvent être clairement distinguées. Les émissions anthropogènes de CO_2, F11 et F12 sont responsables en grande partie de l'augmentation de l'effet de serre déterminant le climat. HNO_3 est susceptible d'être un élément clé de la formation du trou dans la couche d'ozone. L'évaluation finale des données permettra d'établir les profils verticaux des concentrations de ces éléments présents à l'état de traces.

Le prochain vol en ballon de la charge utile MIPAS est prévu pour le printemps 1990, avec un certain nombre d'améliorations apportées à plusieurs sous-systèmes. Par exemple, un second détecteur sera monté pour observer simultanément un deuxième domaine spectral de l'infrarouge moyen. Il est prévu de participer à de futures campagnes d'hiver de vols de ballons dans les régions arctiques.



Spectre représentatif d'émission dans la fenêtre de l'infrarouge, mesuré à la limite apparente de l'atmosphère par MIPAS-B.
Altitude plafond: ≈ 33 km ; angle de visée -3,9° ; résolution spectrale 0,1 cm^{-1} ; étalonnage préalable.
Ce spectre est un bon exemple pour illustrer le fait que chaque gaz possède sa propre "empreinte" dans le spectre due à sa propre structure moléculaire.
Figure 3

Paramètres de l'instrument MIPAS-B (vol du 17/18 mai 1989)

Poids total	360 kg
Enveloppe totale (hors suspente trifilaire et coussinets de sécurité)	3 x 1 x 1 m
Temps de balayage par interférogramme	3,7 s
Résolution spectrale non apodisée	0,05 cm^{-1}
Angle de rotation du balancier	4,02°
Bande passante optique	691-954 cm^{-1}
Longueur d'onde de référence	632,8 nm (Laser HeNe)
Fréquence moyenne des signaux électriques	2,66 kHz
Longueur de mot du convertisseur A/N	14 bit
Détecteur	SiGa, 1 x 1 mm avec condenseur conique
Tension de polarisation	11 V
Résistance de retour	50 MΩ
Sensibilité (préamplificateur de sortie)	8 x 10^5 V/W
NEP* de vol	4 x 10^{-12} W/√Hz
FOV	17 arcmin
Diamètre du diaphragme	190 mm
Etendue	3,5 x 10^{-3} sr cm^2
Séparateur de faisceau	KCl avec revêtement de Sb_2S_3
Rendement optique	11 %
Rendement modulation	60 %
NESR* de vol	1 x 10^{-7} W/(cm^2sr cm^{-1})

* Au cours du premier vol technologique, l'objectif pour le NEP et NESR n'a pas été atteint à cause des optiques du détecteur préliminaire utilisées. Pour le second vol en ballon, la performance devrait être sensiblement améliorée.

IMAGERIE, RADIOMETRIE ET SPECTROMETRIE DE LA REGION DU CYGNE (SUITE)

Pour l'observation de nuages de gaz dans la plaine galactique, nous avons construit un instrument entièrement nouveau, car elle nécessitait une sensibilité plus élevée. Nous avons utilisé une ossature de télescope légère avec une plate-forme à instruments en nid d'abeille et un tube de télescope en plastique renforcé de fibre de carbone, pour réduire le plus possible le poids de l'instrument, sans perte de rigidité mécanique. La nacelle entièrement équipée pèse 470 kg. Le télescope et les instruments sont protégés durant l'ascension et l'atterrissage par des portes. L'ensemble de la nacelle est enveloppé d'un film plastique isolant. Sur la plate-forme stabilisée du télescope, sont également montés une caméra de télévision et un télescope de poursuite des étoiles. Ce dernier permet de pointer le télescope dans un champ de 5° x 5° avec une précision de quelques arcsecondes.

A côté du télescope, notre système optique pour l'infrarouge lointain comprend des filtres passe-bandes refroidis à l'hélium, ainsi qu'un détecteur refroidi à l'He. Trois filtres passe-bandes d'interférence à grille à 80 µ, 125 µ et 330 µ de longueur d'onde, sont utilisés en alternance. Comme détecteur, nous avons choisi un bolomètre en silicone composite de chez "Infrared Laboratories", Tucson, Arizona, USA, refroidi à environ 2 K.

Le NEP du détecteur est de 1,3 . 10^{-14} $W/Hz^{1/2}$. Il est suivi d'un préamplificateur refroidi et d'un amplificateur sensible à la phase, placé hors du cryostat. Le signal numérisé du détecteur, ainsi que des données de télémaintenance sont transmis par télémesure vers la station au sol.

Premier vol

Le 8 mai 1989, un vol en ballon a été réalisé avec le nouveau matériel, au Centre de Lancement de Ballons du CNES à Aire sur l'Adour, France. D'excellentes conditions météorologiques nous ont permis de faire des observations pendant 4 heures et demie à une altitude de 39 km. Les procédures d'essais pour le matériel technique ont été positives. L'erreur de pointage du télescope était de l'ordre de 5 arcsec de moyenne quadratique. Le signal infrarouge détecté était plus fort que prévu. Ceci était dû au fort rayonnement de fond dans la phase de référence du faisceau haché. C'est pour cette raison que les observations aux trois longueurs d'onde donnaient un rapport signal/bruit de fond faible.

Comme ces observations n'ont pas donné des résultats satisfaisants, l'instrument sera modifié pour le prochain vol. Le découpage par le miroir secondaire avec une projection de découpage de 8 arcmin réduira sensiblement l'effet du rayonnement de fond dans l'infrarouge lointain. Le prochain vol aura lieu en automne 1990.

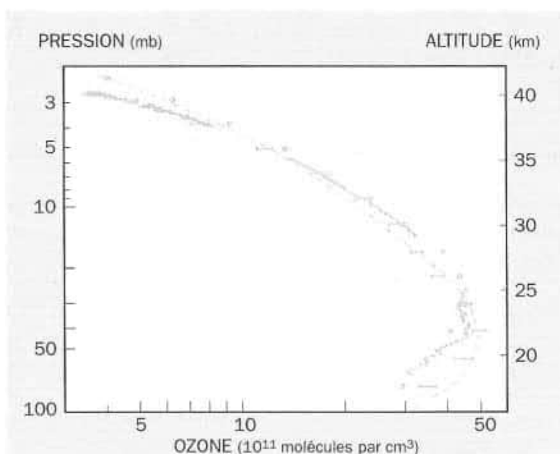
Remerciements

Cette étude a été financée par la Swiss National Science Foundation (SNF), EP Zurich et par l'Observatoire de Genève.

L'OZONOMETRE À PARCOURS MULTIPLE

G. Moreau CNRS/LPCE Orléans

Dans le but de mesurer la concentration d'ozone à haute altitude (entre 30 et 42 km) avec plus de précision qu'avec les appareils existants, nous avons construit au LPCE une nacelle complète embarquée sous ballon.



Profil d'ozone obtenu en fin de nuit le 29 juin 1989 et comparé avec le profil standard de l'atmosphère (en tirés), des mesures satellitaires SAGE II 21-23 avril 1985 (I), 17 septembre 1983 (°) aux mêmes latitudes (45°N). Figure 1

Une analyse des méthodes de mesure utilisées nous a conduit à choisir une méthode classique de mesure de l'ozone, par absorption d'un faisceau lumineux dans l'ultra-violet, mais avec une chaîne de mesure totalement originale par rapport à ce qui existe déjà.

C'est ainsi qu'un faisceau laser pulsé à la longueur d'onde de 248,5 nm sert de source lumineuse. La lumière parcourt plusieurs dizaines de fois la distance séparant deux miroirs sphériques permettant un parcours total, pouvant être modifié avant chaque vol, de 200 m à 400 m (d'où le nom donné à l'appareil). Deux détecteurs rapides mesurent l'atténuation du faisceau laser en rapportant l'énergie après absorption à l'énergie avant absorption. D'autre part, 4 volets situés de chaque côté sur la partie supérieure laissent le système ouvert pour la mesure de l'ozone, mais lorsqu'ils sont rabattus, un gaz non absorbant est injecté qui balaye l'air ambiant dans l'enceinte fermée, de telle sorte que la transmission de l'optique seule est mesurée. Cette phase dite d'étalonnage est répétée plusieurs fois au cours du vol.

L'ensemble optique reste fixé à la structure dans les limites de tolérances facilement accessibles, malgré un environnement sévère. Ceci est réalisé grâce au type de cavité à parcours multiple choisi aisément réglable d'une part, et d'autre part, parce que l'ensemble de l'optique est fixé à une structure en tubes de fibres de carbone attachés à des planches nids d'abeille et fibres de carbone alliant la faible dilatation, la légèreté à la rigidité souhaitée.

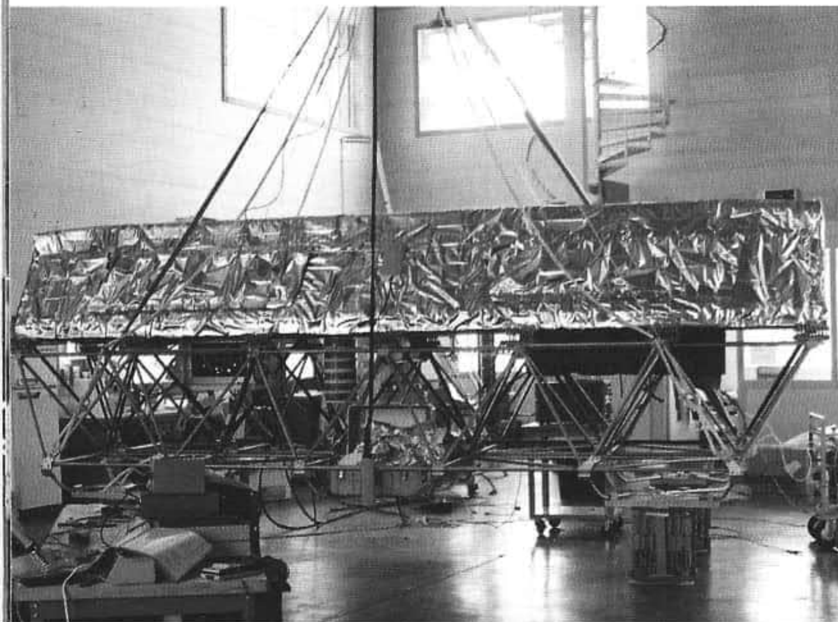
Les performances observées au cours de trois vols en 1988 et 1989 à Gap et Aire sur l'Adour sont celles attendues. En particulier l'incertitude absolue à chaque tir laser (toutes les 4 secondes) est de l'ordre de 6-9 10^9 molécules par cm^3 (soit 1,5 % à 41 km), mais des fluctuations plus fines sont observées sur des périodes plus longues. Les **figures** 1 et 2 montrent respectivement le profil obtenu de 18 km à 41 km le 29 juin 1989 avant le lever du soleil et le profil temporel juste avant le lever du soleil.

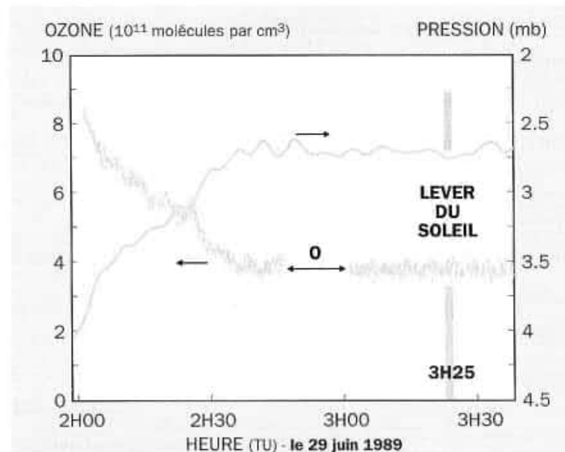
Plusieurs observations importantes ont été faites lors de ce vol, dont :

- l'absence de fluctuations importantes au-dessus de 30 km,
- les faibles valeurs vers 40 km, en général en deçà de la plupart des mesures satellitaires, mais en accord avec les modèles toutefois,
- les fluctuations fines de période 15 à 40 secondes et d'amplitude allant jusqu'à 5 % au plafond.

En résumé, l'ozonomètre à parcours multiple possède les caractéristiques requises permettant à la fois d'analyser finement le milieu stratosphérique, surtout au dessus de 30 km, et de servir de référence absolue pour les mesures à distance. De nombreux vols sont programmés qui permettront d'atteindre pleinement les buts poursuivis.

Vue de la nacelle avant le lancement. Figure 3





Profil d'ozone obtenu juste avant le lever du soleil montrant les relations entre la pression et la concentration d'ozone. "O" est la période d'étalonnage. On distingue des structures fines sur le profil, d'amplitude plus élevée que les barres d'erreur. Figure 2

DEUX TOURS DU MONDE EN BALLON

P. Malaterre CNES/BA/LD Toulouse

Un ballon du CNES a réalisé fin janvier l'exploit de parcourir deux fois le tour du globe terrestre dans le cadre d'une campagne de vols de longue durée dans l'hémisphère sud, organisée avec la participation de deux laboratoires scientifiques français : le Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD) et le Laboratoire de Géomagnétisme et Paléomagnétisme de l'Institut de Physique du Globe (IPG).

Cette campagne avait pour objectifs la mesure de la vapeur d'eau stratosphérique, l'un des éléments les plus importants dans l'équilibre physico-chimique de la basse stratosphère et la mesure des anomalies magnétiques de grande longueur d'onde qui sont une source d'informations très importante pour l'étude de la tectonique des plaques.

Au total, six vols ont été effectués, dont trois à des fins technologiques, avec une moyenne de durée de vie des ballons de quatre semaines. Deux ballons ont accompli un tour complet du globe et l'un deux, lâché le 8 décembre 1988 dans l'hémisphère sud, a de boucler un deuxième tour du monde après 50 jours de vol.

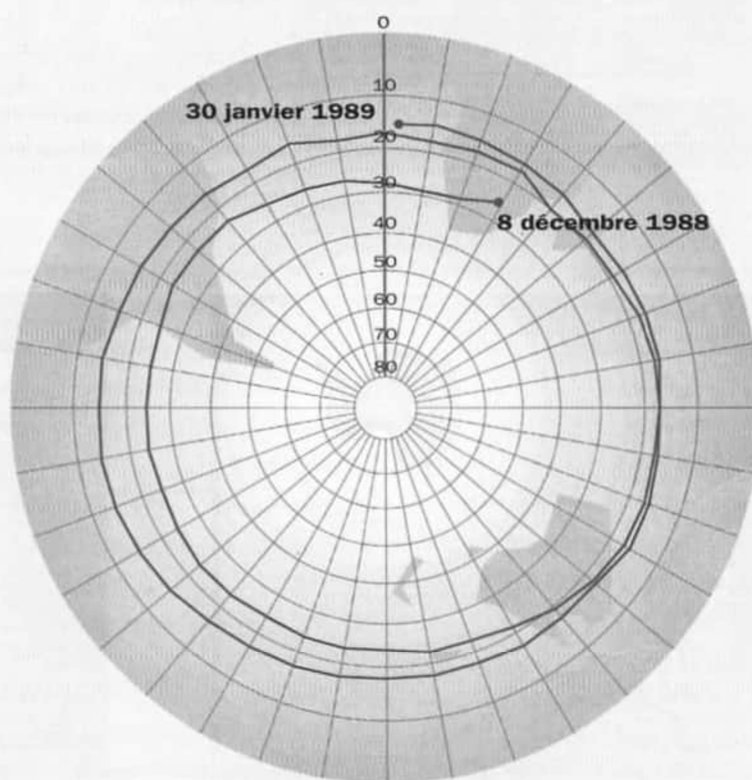
Les expériences scientifiques embarquées ont toutes parfaitement fonctionné.

Le type de véhicule utilisé pour ces vols, la montgolfière infrarouge, est un ballon à air chaud de 36 000 m³ de volume, emportant une charge de 40 à 80 kg, dont l'originalité réside dans le fait qu'il n'est chauffé la nuit que par la captation du rayonnement infrarouge émis par la Terre.

De jour, la chaleur apportée par le Soleil augmente la portance du ballon et son altitude croît de 10 km. Au vol de longue durée s'ajoute ainsi l'intérêt de sondages verticaux biquotidiens des propriétés de l'atmosphère entre 20 et 30 km d'altitude.

Ces ballons ont été fabriqués par la société Zodiac International. C'est en 1981 que le premier vol d'une montgolfière infrarouge a eu lieu. Le concept de ce véhicule est dû à une équipe de chercheurs du Service d'Aéronomie du CNRS. Les performances actuelles sont le fruit de développements technologiques récents et d'une optimisation du véhicule aux conditions météorologiques extrêmes qu'il peut rencontrer. Les études ont été menées par le CNES (Centre Spatial de Toulouse), en collaboration avec l'industriel et l'Université (ENSMA-Poitiers, ENSAE-Toulouse), et avec le soutien de laboratoires (Onera/Derts-Toulouse).

La réussite de la présente campagne ouvre la voie à de nouvelles possibilités de mesures physico-chimiques in situ et sur de longues périodes dans la basse stratosphère : dynamique des échanges de masse d'air, dosage de la vapeur d'eau, des oxydes d'azote et de l'ozone.



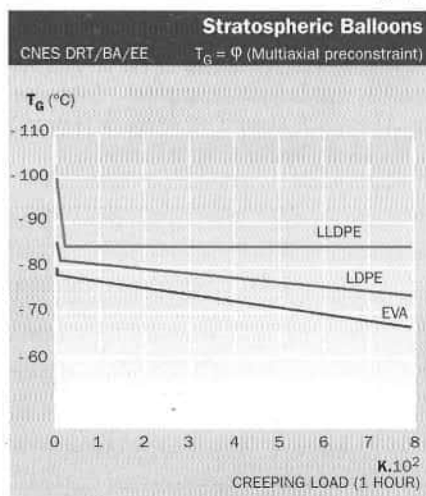
Trajectoire de la montgolfière infrarouge
Figure 1

PILOTAGE EN TEMPERATURE D'UN BALLON STRATOSPHERIQUE OUVERT

P. Faucon CNES/BA/CL Aire sur l'Adour

Les campagnes d'hiver en Laponie (CHEOPS 1 et 2) ont montré la difficulté de faire voler des ballons dans des régions stratosphériques froides, tout en maintenant des vitesses d'ascension élevées.

Figure 1



Cette vitesse relativement élevée est indispensable pour que le programme scientifique des vols puisse être entièrement réalisé avant la séparation du ballon près de la frontière entre la Finlande et l'Union Soviétique.
La vitesse d'ascension élevée obtenue par une force ascensionnelle libre, 10% à 11%, entraîne un refroidissement adiabatique relativement important du gaz.
Ce refroidissement du gaz, et par conséquent de la peau du ballon, peut provoquer l'éclatement de l'enveloppe du ballon, qui se produit lorsque la température de transition vitreuse du polyéthylène est atteinte, c'est-à-dire -95° à -105° (**figure 1**).
Pour augmenter la fiabilité des vols dans les zones froides, une première étape a consisté à réduire la force ascensionnelle libre du ballon 8% (**figure 2**), qui doit néanmoins rester compatible à la fois avec les contraintes opérationnelles de la trajectoire de vol et avec le phénomène d'inversion de température, qui peut arrêter l'ascension du ballon (**figure 3**).

Les vols technologiques réalisés en France (campagne de GAP de 1988) ont clairement montré les effets des ouvertures du clapet et du délestage sur le système thermodynamique "Gaz + Enveloppe + Environnement".
Ainsi, l'ouverture du clapet permet un réchauffement sensible (jusqu'à 6°) de la masse gazeuse ; par contre, le délestage provoque un refroidissement (**figures 6 et 7**).

Une solution évidente pour éviter l'éclatement des ballons dans les régions stratosphériques froides, dû au phénomène de transition vitreuse, consistait à réchauffer le gaz en ouvrant le clapet. Ce concept opérationnel fut vérifié lors de la campagne TECHNOPS.

La campagne TECHNOPS à Kiruna (Suède)

Au cours de l'hiver 1989, cette campagne nous a permis de :

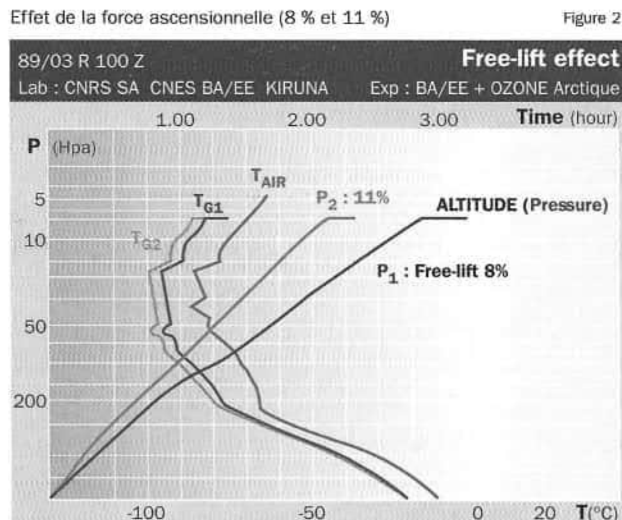
• faire voler des ballons expérimentaux de 100 000 m³ équipés, par BA/EC de nombreux capteurs, c'est-à-dire de sondes de température du gaz et de la peau du ballon (**figure 4a**).
Ces vols nous ont permis de mieux comprendre la physique du vol de ballon dans les régions stratosphériques froides, dans des conditions semi diurnes et nocturnes.
Les résultats de ces vols sont analysés par les spécialistes du service Etudes et Evaluations du CNES/Toulouse.

• valider le concept de ballons opérationnels équipés d'un petit nombre de capteurs :
- 2 sondes de température gaz (**figure 4b**).
Ces ballons devraient être très maniables, malgré les thermistances à l'intérieur de l'enveloppe, et leur coût devrait être relativement bas.

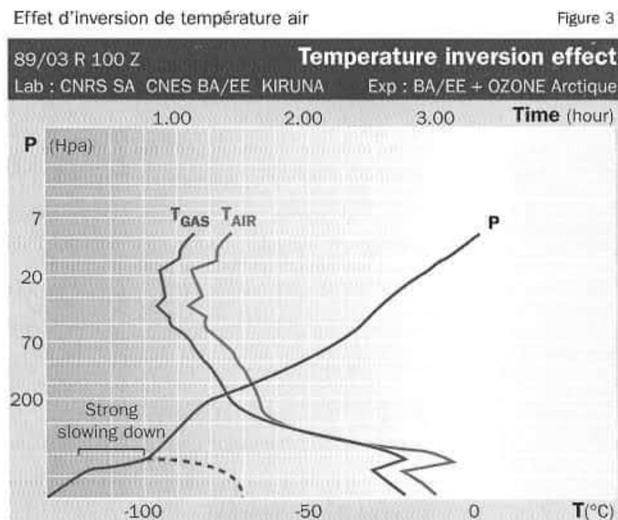
• qualifier de nouveaux matériaux développés par le service Etudes et Evaluations du CNES Toulouse (les données obtenues sont analysées et les résultats communiqués aux participants à la campagne CHEOPS en juin 1989).

• valider la procédure de pilotage en température, qui comprend les étapes suivantes :
a) Le sondage des vents et des températures réalisé avant le vol permet, grâce à un programme informatique, de simuler les conditions de vol (vitesse d'ascension, température du gaz) selon le profilé des températures atmosphériques mesurées par la sonde.
b) Cette simulation permet de déterminer les zones dangereuses pour le ballon, c'est-à-dire à

Effet de la force ascensionnelle (8 % et 11 %) Figure 2



Effet d'inversion de température air Figure 3



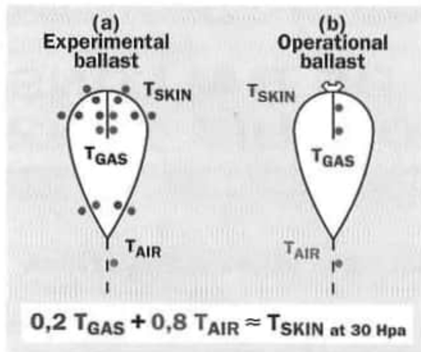


Figure 4

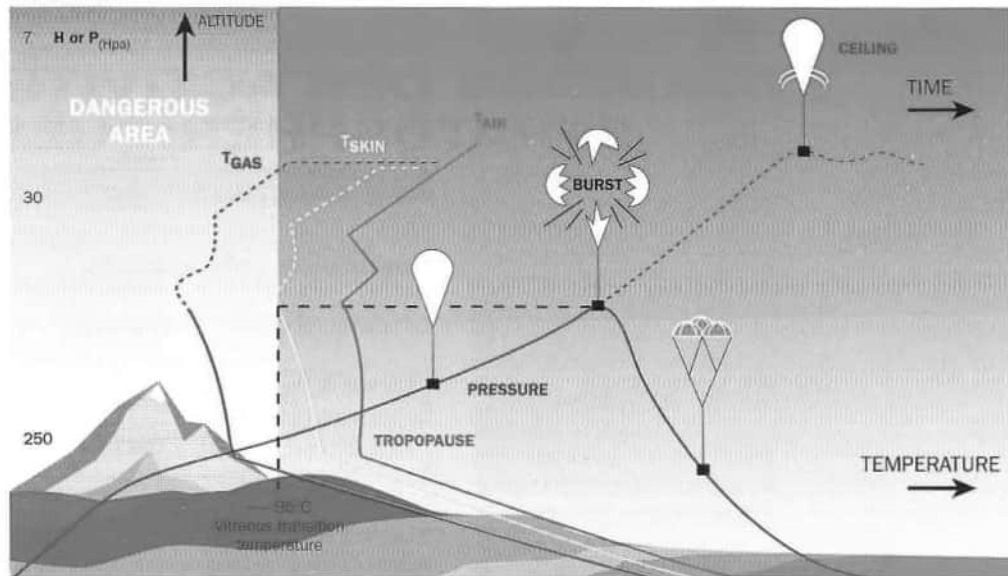


Figure 5

quel niveau la température du gaz franchira le seuil en dessous duquel la peau du ballon atteint la température de transition vitreuse (corrélation entre la température au cœur du gaz et celle de la peau du ballon (**figure 5**) :

$$T_{peau} = (A \times T_{gaz} + B \times T_{air})$$

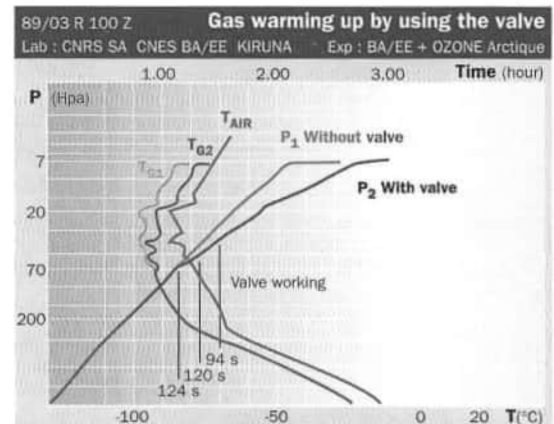
c) Au cours du vol réel du ballon, le pilote, dans la salle d'opérations, surveillera l'évolution de la température du gaz, tout particulièrement dans les zones dangereuses prévues par la simulation qui précède le vol.

Les corrélations "T_{gaz} - T_{peau}" signifient que la limite de température que le gaz ne doit pas dépasser peut être déterminée (fonction de la température de transition vitreuse de la peau) : lorsque la T_{gaz} atteint le seuil de danger, le pilote devra ouvrir le clapet pour réchauffer le gaz, et par conséquent l'enveloppe. Cette opération peut être répétée, dans la mesure où elle n'arrête pas l'ascension du ballon. L'inconvénient majeur de la méthode est le ralentissement de l'ascension du ballon, ce qui risque de raccourcir le vol à cause de la proximité de la frontière soviéto-finlandaise. Pour remédier à cet inconvénient, on peut utiliser le système de délestage permettant d'accélérer l'ascension du ballon ; ce procédé n'est utilisable que si le délestage, qui refroidit le gaz, se fait en dehors d'une zone dangereuse pour la peau du ballon, c'est-à-dire lorsque la température de l'air augmente (**figure 8**).

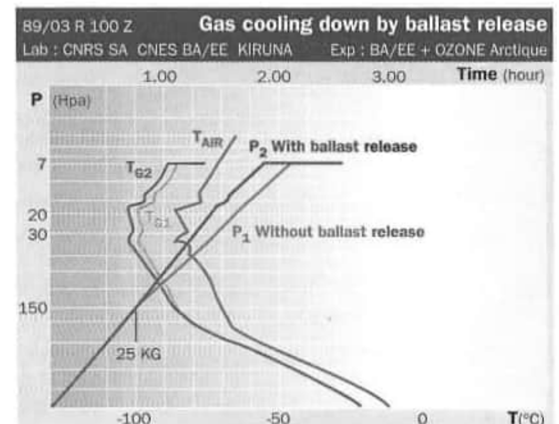
Conclusion

Le CNES/Aire sur l'Adour pense avoir mis au point un nouveau procédé de pilotage de ballons en température, qui augmentera la fiabilité des vols de ballons en régions stratosphériques froides. Il est évident que cette méthode comporte un certain nombre d'inconvénients, qui devraient disparaître rapidement (une détermination plus fine des coefficients de corrélation T_{gaz}/T_{peau}, la représentativité du point de mesure en ce qui concerne l'ensemble du ballon, étant donnée la grande variabilité des températures du gaz à l'intérieur de l'enveloppe).

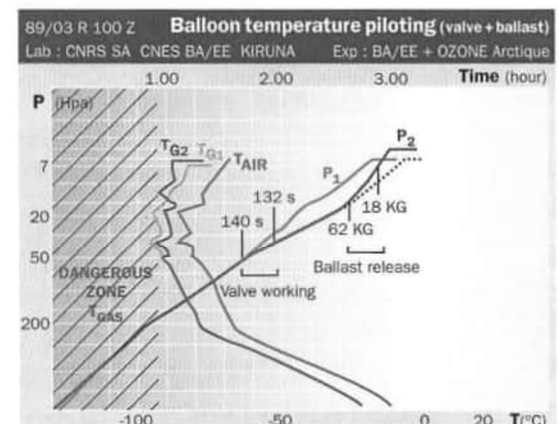
D'autres améliorations à moyen terme sont mises au point à Toulouse, en particulier le perfectionnement de nouveaux matériaux qui ont une température de transition vitreuse plus basse.



Effet de réchauffement du gaz dû au clapet
Figure 6



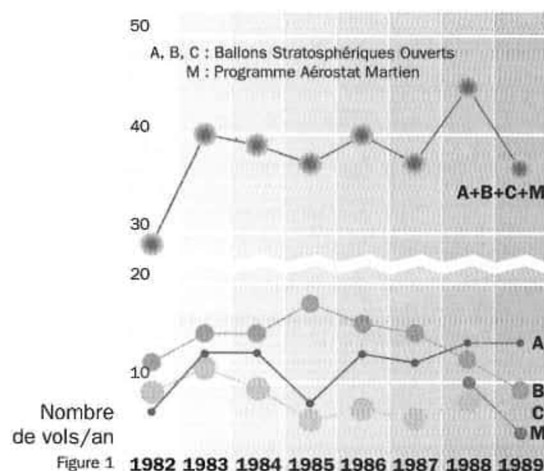
Effet de refroidissement du gaz dû au délestage
Figure 7



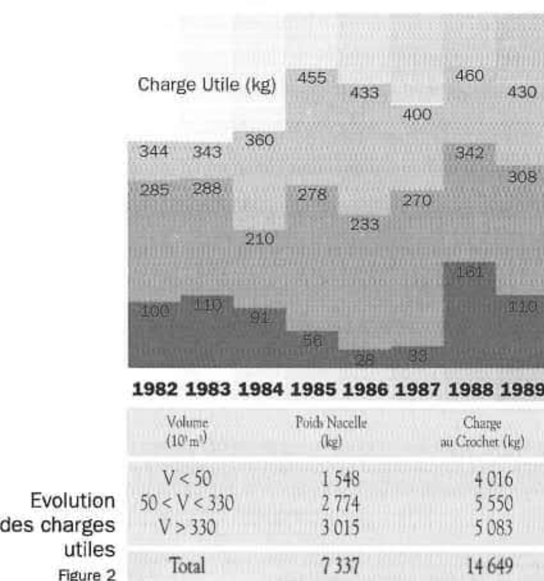
Pilotage d'un ballon en température
Figure 8

EVALUATION DES ACTIVITES DE BALLONS STRATOSPHERIQUES DEPUIS 1982

P. Vincent CNES/BA/CL Aire sur l'Adour

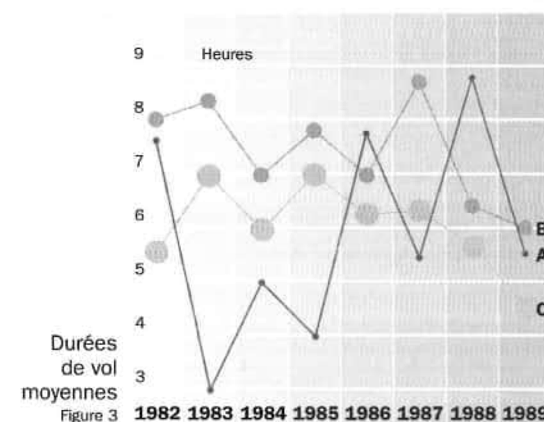


Nombre de vols/an
Figure 1

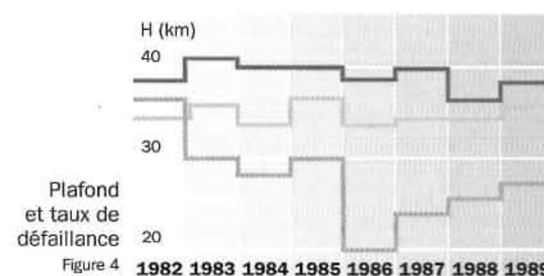


Volume ($10^3 m^3$)	Poids Nacelle (kg)	Charge au Crochet (kg)
V < 50	1 548	4 016
50 < V < 330	2 774	5 550
V > 330	3 015	5 083
Total	7 337	14 649

Evolution des charges utiles
Figure 2



Durées de vol moyennes
Figure 3



Plafond et taux de défaillance
Figure 4

Nombre de vols annuels

Les vols ont été classés en trois catégories :

• Les vols de type A :
Ils correspondent à de petits ballons d'un volume inférieur à 50 000 m³ (par exemple P1, P2 ... 12 SF, etc).

• Les vols de type B :
Ballons d'un volume compris entre 50 000 m³ et 330 000 m³ ; ce sont les ballons les plus fréquents des dernières années (100 SF, 100 ZED). Un ballon intermédiaire, mis au point par Zodiac en 1987, sur les propositions du CNES, est venu compléter cette catégorie : le 150 ZED.

• Les vols de type C :
Ballons d'un volume supérieur à 330 000 m³ (350 SF, 400 ZED, 600 ZED).
Ces ballons sont parfaitement adaptés aux lourdes charges d'Aire sur l'Adour (charge utile maximale de 500 kg avec dérogation) et aux plafonds élevés ; surtout depuis l'extension, en 1989, du site de lancement qui autorise des ballons atteignant un volume de 1 300 000 m³.

La **figure 1** montre que les ballons de taille moyenne restent l'activité principale d'Aire sur l'Adour, avec une moyenne d'environ 15 lancements par an.
La demande de ballons de grande taille s'est stabilisée autour de 10 vols par an.

D'autre part, on note une augmentation du nombre de petits ballons (12 vols/an), qui sont souvent utilisés pour des lancements technologiques d'expériences destinées à des vols de longue durée, auxquels Aire sur l'Adour sert de banc d'essai.

L'évaluation du nombre de vols de ballons de petite taille ne prend pas en compte le programme "Aérostat Martien" en cours de développement au CNES (**vols de type M**).
Ce programme concerne des "vols couplés" de petits ballons expérimentaux :
16 ballons de ce type ont été lancés en 1988 et 1989.

Charges utiles transportées

La **figure 2**, qui présente l'évolution des charges utiles depuis 1982, met en évidence trois points :
• Les ballons de grande taille (600 ZED) ont permis d'emporter des charges utiles de plus en plus lourdes, allant jusqu'à un maximum de 500 kg avec dérogation, limite autorisée par le CNES pour des vols au-dessus de la métropole.
• Les charges utiles des petits ballons sont de plus en plus légères (il n'est pas tenu compte des charges utiles des vols expérimentaux du programme Aérostat Martien).
• Un paramètre intéressant est la masse des charges scientifiques (hors ballast des nacelles et télémesure) transportées par an : 7,337 tonnes (1989).

Durée de vol

La **figure 3** montre les durées de vol totales pour chaque type de ballon : cette durée totale est égale à l'ascension, plus le vol à altitude constante en plafond et/ou la lente descente contrôlée par clapet. A noter que les ballons de grande taille ne sont probablement pas utilisés au maximum de leurs possibilités, puisque leur durée moyenne de vol reste inférieure à celle des ballons de taille moyenne (temps d'ascension plus court, vol dans les couches inférieures où les vents sont plus faibles). Au cours des huit dernières années, le nombre moyen d'heures de vol est supérieur à 240 h/an.
Ceci correspond à environ 150 heures de vol utiles aux scientifiques, durée d'ascension non comprise.
En ce qui concerne Gap, il est intéressant de noter que la durée de vol se situe bien au-dessus de la moyenne (**tableau 1**).

Plafond, Taux de défaillance ballon

Le taux de défaillance du système de transport, c'est-à-dire du ballon et du train de vol, est de l'ordre de 5% (moyenne sur 7 ans) avec un taux plus faible pour les ballons de petite taille (leur développement à long terme a permis d'obtenir une fiabilité plus élevée), (**figure 4**).

Niveau plafond (hPa)	Durée plafond	Durée descente lente	Total
24	08 h 43	02 h 40	11 h 23
24	06 h 18	03 h 00	09 h 18
14	11 h 56		11 h 56
6,7	09 h 40		09 h 40
4,3	07 h 14		07 h 14
3,5	04 h 45	02 h 14	06 h 59
9,1	01 h 45	08 h 51	10 h 36
Durée moyenne			10 h 00

Niveau plafond (hPa)	Durée plafond	Durée descente lente	Total
4,3	12 h 10		12 h 10
6,52	04 h 54	03 h 14	08 h 08
5,60	10 h 32		10 h 32
23,08	13 h 29		13 h 29
2,8	06 h 20		06 h 20
3,8	04 h 05	03 h 40	07 h 45
20,60	10 h 15		10 h 15
Durée moyenne			09 h 48

Durée moyenne des vols à Gap en 1988 (à gauche) et 1989 (à droite)

Tableau 1

Répartition des expériences par discipline

Le **tableau 2** donne la répartition des expériences transportées par des ballons lancés à partir des Centres de Lancement d'Aire sur l'Adour, de Gap, ou à partir de sites à l'étranger (Suède), les vols technologiques du CNES étant exclus. L'aéronomie occupe la place la plus importante (environ 80% des expériences). En moyenne, plus de la moitié des expériences transportées sont réalisées par des laboratoires étrangers (principalement allemands, suivis par les belges). L'astronomie ne représente que 15% des expériences en vol (moyenne sur 8 ans), mais au cours des dernières années, ces activités ont connu un net recul en France ; une seule expérience vole régulièrement : FOCA 1000 et SCAP 1909 du LAS et de l'Observatoire de Genève.

Périodes des lancements

Les histogrammes de la **figure 5** mettent en évidence deux points :

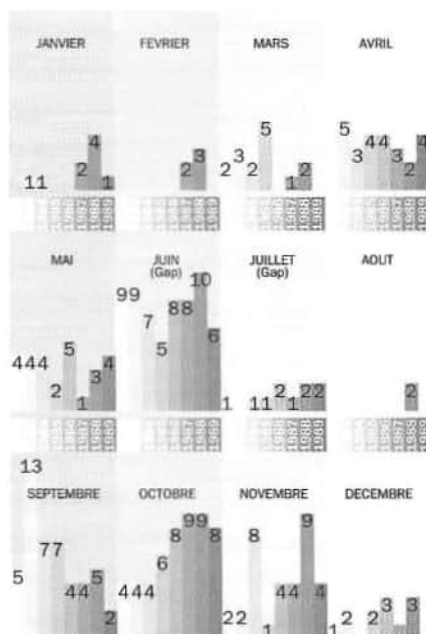
• En cas de conditions météorologiques favorables, le Centre peut lancer en moyenne 10 à 12 ballons par mois. On peut ainsi noter qu'au cours des périodes très favorables (juin pour Gap, septembre-octobre pour Aire sur l'Adour), les possibilités opérationnelles du Centre de Lancement de Ballons ne sont pas pleinement exploitées.

• D'autre part, pour des vols qui requièrent un plafond inférieur à 7 hPa (**figure 6**), les autres périodes de l'année permettent de réaliser des vols d'une durée intéressante (en particulier des vols contrôlés par clapet).

Il n'en reste pas moins que les possibilités de récupération rapide d'Aire sur l'Adour, ainsi que le support technique que le Centre apporte aux laboratoires, permettentt à un certain nombre de scientifiques de faire voler leurs expériences plusieurs fois au cours d'une même période ou même pendant une même campagne ; quelques exemples pour 1987 :

CEA/CFR : 2 vols au cours de la campagne d'automne,
LMD : 2 vols au cours de la campagne d'automne,
SA : 2 vols dans l'année,
KFA JULICH : 2 vols dans l'année,
MPIK HEIDELBERG : 3 vols dans l'année
BA/LD : 2 vols dans l'année,
plus 3 vols au cours de la même campagne.

Cette répétitivité est un atout intéressant du Centre de Lancement de Ballons.



Périodes des lancements Figure 5

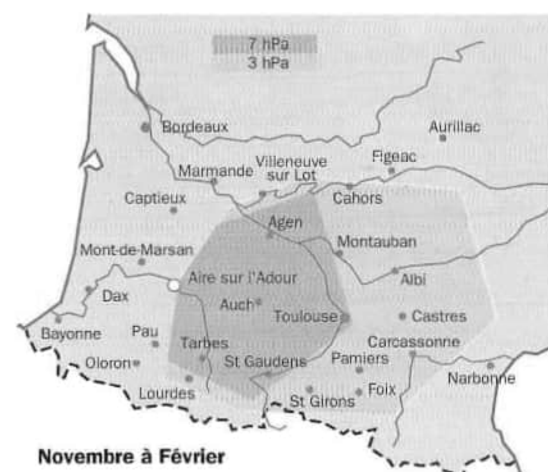
	82	83	84	85	86	87	88	89	Total	D	B	CH	USA	JAP	GB	SP	NZ	I
AERONOMIE																		
Prog. étrangers	16	26	13	25	8	12	13	9	122	71	17	6	13	9	3	2	1	
Prog. français	3	9	8	10	11	9	12	16	78									
Total	19	35	21	35	19	21	25	25	200									
ASTRONOMIE																		
Prog. étrangers	2	3	2	2	2	2	8	4	25		3	20						2
Prog. français	3		5	3	3	1	1	2	18									
Total	5	3	7	5	5	3	6	6	43									
GEOPHYS. EXT.																		
Prog. étrangers					3				3				3					
Prog. Français				1	4				5									
Total				1	7				8									
TELECOMMUNICATIONS																		
Prog. français					1	1			2									
Nombre total d'expériences									253									

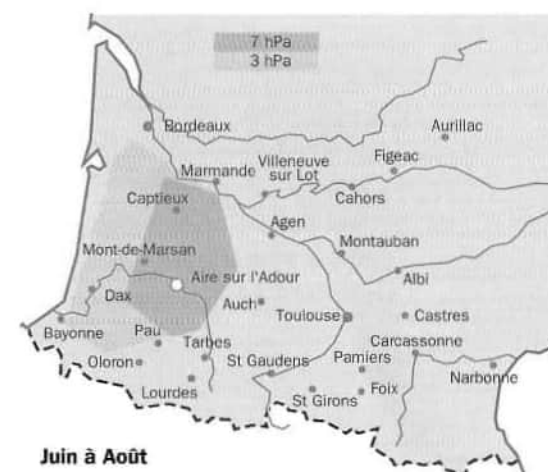
Distribution des expériences par discipline Tableau 2

	82	83	84	85	86	87	88	89	Total
ITALIE									
Univ. Rome							2		2
RFA									
MPAE Lindau	4	2		2		1			9
KFA Jülich	2	4	5	4	1	3	5	1	25
MPIK Heidelberg	5	1	4	5	2	4	4	3	28
Bonn Univ.	2	3							5
Wuppertal Univ.		1			1				2
Koln Univ.				1					1
IMK/KfK Karlsruhe								1	1
Total RFA	13	11	9	12	4	8	9	5	71
BELGIQUE									
IAS Bruxelles	4	6	3	3	1		1		18
IRM Bruxelles		1			1				2
Total Belgique	4	7	3	3	4	2	5		20
SUISSE									
E.P. Zurich							1	1	2
Obs. de Genève	1	2	2	2	4	2	3	3	19
Obs. de Davos				1			1		2
Total Suisse	1	2	2	3	4	2	5	4	23
USA									
NASA/JPL		2							2
NOAA		2							2
NASA/GSF				3		1	2	2	8
Denver Univ.				1					1
Washington Univ.					3				3
Total USA		4		4	3	1	2	2	16
JAPON									
Nagoya Univ.		1		2		1	2	2	8
Tokyo Univ.					1				1
Total Japon		1		2	1	1	2	2	9
GRANDE BRETAGNE									
RAL		2							2
Oxford Univ.				1					1
Total GB		2		1					3
ESPAGNE									
CONIE		2							2
NOUVELLE ZELANDE									
DSRI				1					1
Total Etranger	18	29	14	27	13	12	21	13	147
FRANCE									
SIRPA							1		1
SA	1	5	5	5		3	4	7	30
LMD					4	2	3	3	12
LPCE	1	2		1	2	3	2	2	13
LAS	1		2	2	2	1	1	2	11
LPSP				1	1				2
LPMA				1				1	2
ONERA	1			1					2
CFR					1	2		1	4
CESR	1		3	1	4				9
LOA		2	3	2	4	1	3	2	17
ANSTJ					1				1
Total France	5	9	13	14	19	12	14	18	104

Répartition des expériences lancées en France Tableau 3







Débuts de plafond à Aire-sur-l'Adour Figure 6

BALLONS STRATOSPHERIQUES OUVERTS LANCES EN 1988 - 1989

1988

Programme des lancements en France

N° Vol	Date	H TU	Ballon V (m^3)	Laboratoire	Charge utile	Plafond (hPa)	Durée de vol
10	03.05	07h08	4.700	CNES/BA/LD	117	4,8	07h21
47	18.11	08h01		CNES/BA/CL	383	5,7	02h39
13	02.06	05h59	12.000	LMD	259	24	04h33
14	07.06	18h47		LMD	247	23,8	13h10
15	09.06	05h42		LMD	257	23,3	16h11
16	10.06	06h08	35.000	CNES/BA/EE	500	13,5	13h23
27	11.09	05h33		CNES/BA/CL	500	14	07h16
40	27.10	06h55	65.000	Univ. Rome	200	4,4	03h28
17	13.06	06h09	100.000	CNES/BA/DS	411	6,7	12h31
19	16.06	05h09		CNES/GA/TA	218	4,3	09h16
21	20.06	20h53		CNES/BA/EE	670	9,1	13h23
35	18.10	19h37		CNES/BA/EE	600	7,6	04h03
41	07.11	07h06		MPIK Heildelberg (RFA)	832	40	04h37
49	30.11	07h01		CNES/BA/CL	558	7	02h38
23	09.07	04h29	150.000	LOA Lille	700	3,3	10h36
11	04.05	00h22	350.000	LPCE Orléans	692	4	06h17
29	27.09	07h07		CEV	750	3,5	03h22
30	29.09	01h01		LPCE Orléans	695	3,8	06h16
48	25.11	08h15		KFA Julich (RFA)	564	5,2	02h07
8	20.04	20h50	400.000	Obs. Genève (CH), LAS Marseille	786	2,5	06h53
20	18.06	05h30		CNRS/SA	939	3,5	09h46
34	14.10	07h00		Obs. Davos, Obs. Genève (CH), IAS Bruxelles (B)	850	3,5	06h12

Programme Aérostat Martien

10 vols (N° 9, 12, 24, 25, 26, 31, 32, 36, 44, 46)

Vols Transaustraliens

N° Vol	Date	H TU	Ballon V (m^3)	Laboratoire	Charge utile	Plafond (hPa)	Durée de vol
1	29.10	05h57	400.000	CESR Toulouse	960	4,3	19h31
2	25.11	19h17	800.000	CESR Toulouse	2.249	3,5	23h45

Campagne CHEOPS-2 - Kiruna (S)

N° Vol	Date	H TU	Ballon V (m^3)	Laboratoire	Charge utile	Plafond (hPa)	Durée de vol
1	25.01	07h32		MPIK/H, KFA/J (RFA)	804		00h30
2	26.01	07h09		CNRJ/SA	370		00h03
3	28.01	08h28	35.000	LOA Lille	592	34	04h23
4	29.01	08h36		CNRS/SA	368	20	04h35
6	08.02	08H02		MPIK/H (RFA)	301		00h25
5	01.02	08h36	100.000	KFA Jülich, MPIK Heidelberg (RFA)	607	7,5	03h05
7	10.02	21h52		KFA Jülich, MPIK Heidelberg (RFA)	605	23	06h53

(1) Tous les ballons sont de fabrication Zodiac Espace, sauf celui du vol 35 (100.000 m³ Winzen).

1989

Programme des lancements en France

N° Vol	Date	H TU	Ballon V (m^3)	Laboratoire	Charge utile	Plafond (hPa)	Durée de vol
8	10.04	21h16	12.000	CNRS/SA	252	42	02h20
9	14.04	19h54		CNRS/SA	253	40	02h30
18	23.06	23h59		LMD	262	23	13h29
21	33.07	05h59		CNES/SA	218	20	10h15
28	12.10	17h43		LMD	258	23	06h40
34	21.11	18h10		CNRS/SA	119	11	06h36
35	22.11	10h23		LOA Lille	307	25,3	04h23
36	23.11	17h09		CNRS/SA	100	22,5	03h50
26	11.10	17h58	35.000	LMD	250	4,2	03h28
32	25.10	07h12		CNES/BA/CL	407	12,2	03h45
33	02.11	17h51	53.000	CNES/BA/CL	136	5	03h04
10	15.04	13h40	100.000	LOA Lille	600	7,5	06h18
13	17.05	21h33		MTO Munich (RFA)	620	8	06h09
15	16.06	06h36		CNES/BA/CL	203	4,2	12h11
16	20.06	06h59		KFA Jülich (RFA)	400	6,5	08h08
17	21.06	23h23		CNES/BA/EE	600	5,6	10h32
20	30.06	21h15		LMD	262	23,1	13h29
31	23.10	01h58		MPIK Heidelberg (RFA)	900	9,5	07h59
35	05.10	07h15	(1)	CNES/BA/CL	250	4,2	02h28
24	21.09	06h43	350.000	CEA/CFR	700	3,5	02h18
11	05.05	19h47	400.000	LAS Marseille	800	3,4	05h28
12	08.05	20h41		ETH Zurich Obs. Genève (CH)	470	5,5	04h30
27	12.10	02h39		LPCE Orléans	939	3,35	02h08
29	14.10	01h37		LPMA	651	2,92	04h16
30	21.10	17h50		LAS Marseille	700	2,89	04h16
19	28.06	23h22	600.000	LPCE Orléans	683	2,8	06h20

Programme Aérostat Martien

6 vols (N° 3, 6, 7, 14, 22, 23)

Vols Transméditérranée

N° Vol	Date	H TU	Ballon V (m^3)	Laboratoire	Charge utile	Plafond (hPa)	Durée de vol
1	13.07	06h52	400.000	Obs. Ebro, INTA ARN (SP)	733	3,3	23h15
2	16.07	08h02	830.000	IAF Milan, IAF Frascati (I), Univ. South (GB)	2.014	-	-
3	09.08	22h45	600.000	Univ. Roma, CAISMI. Firenze IROE. Firenze, IRS. Roma (I)	1.443	-	22h51

Campagne TECHNOPS - Kiruna (S)

N° Vol	Date	H TU	Ballon V (m^3)	Laboratoire	Charge utile	Plafond (hPa)	Durée de vol
1	17.01	08h11	35.000	CNES/BA/CL	370	10,5	02h36
2	18.01	09h20		MPIK Heidelberg (RFA)	426	13,5	02h36
4	23.01	11h30	100.000	CNES/BA/EE, CNRS/SA	600	7,56	03h28
5	30.01	11h27		CNES/BA/EE, CNRS/SA	600	6,5	03h19

Acronymes

CEA/CFR	Centre des Faibles Radioactivités du CEA
CESR	Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements - Toulouse
CEV	Centre d'Essais en Vol
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales
CNRS/SA	Service d'Aéronomie du Centre National de la Recherche Scientifique
EP Zurich	Ecole Polytechnique de Zurich (CH)
IAS	Institut d'Aéronomie Spatiale - Bruxelles (B)
KFA	Kernforschungsanlage - Jülich (RFA)
LAS	Laboratoire d'Astronomie Spatiale - Marseille
LMD	Laboratoire de Météorologie Dynamique
LOA	Laboratoire d'Optique Atmosphérique - Lille
LPCE	Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement - Orléans
LPMA	Laboratoire de Physique Moléculaire Atmosphérique - Paris
MPIK	Max Planck Institut für Kern Physic - Heidelberg (RFA)
IMK/KfK	Institut für Meteorologie und Klimaforschung - Karlsruhe (RFA)
Obs. Davos	Observatoire de Davos (CH)
Obs. Ebro	Observatorio de Ebro (SP)
Obs. Genève	Observatoire de Genève (CH)
Univ. Rome	Université de Rome (I)

LES ACTIVITES BALLONS EN FRANCE

Revue éditée par le Centre de Lancement de la Division Ballons - M. P. Vincent
et le Département Publications de la Délégation à la Communication du CNES

Crédit photos : CNES